

# 理科教育における連想記憶モデルの活用 (2)

— イメージ表現による学習評価および授業設計 —

松原 道男

## The Practical Use of Associative Memory Model in Science Education (2) : Evaluation of Learning and Class Design by Expressing Image

Michio MATSUBARA

### I はじめに

これまでの研究<sup>1)</sup>においては、ホップフィールドモデルにもとづく連想記憶モデルを作成し、理科に関する子どもの知識分析や授業設計の利用について提案を行ってきた。

本研究で用いる神経回路網については、脳の働きを解明するために、様々な角度から研究が行われている。たとえば、視覚や空間認知、記憶と海馬、といったように脳の各部分や各機能について、神経回路網による分析や考察をしたものがあげられる<sup>2)3)</sup>。また、脳全体の働きを、神経回路網から考察した研究があげられる<sup>4)</sup>。たとえば、一杉<sup>5)6)</sup>は、入力情報が与えられるたびに、認識ステップと学習ステップを実行するモデルを提唱している。学習ステップでは、ネットワークのユニットは自己組織化マップとして動作し、認識ステップでは、ネットワークのすべてのユニットがベイジアンネットとして動作するものである。

このような神経回路網による脳の機能の解明は、今後、理科の教育にも多いに生かしていく必要があるといえる。一方、これらのモデルにおいては、形成される知識や認識結果が対象にされていることが多く、そのプロセスにおいて生じると考えられるイメージについての分析は、あまり行われていない。理科の教育では、自然認識におけるイメージの役割やイメージ形成の重要性が指摘されている<sup>7)8)</sup>。

これまでの研究においては、刺激語に対して

想起する単語をイメージ的なものとみなし、バックグラウンドで数値的に処理を行ってきた。そこで、このイメージに対応する部分をモデルにおいて見える形で表現することにより、理科学習における知識形成の解明やモデルの教育的活用に役立てていけることが考えられる。

### II 研究の目的

以上のことから、本研究においては、これまでに開発してきたモデルをもとに、知識の想起においてイメージを表現する機能を組み込んだモデルを作成することにより、理科における知識や認識の分析方法を提唱するとともに、教育的な活用について、明らかにすることを目的とした。

### III 研究方法

#### 1. モデルの基本構成

モデルの作成については、これまでに作成したWindowsで動作するモデル<sup>9)</sup>を基礎にしながら、イメージを表現する機能を組み込むことにした。そこで、これまで通りVisual Basic .NETにより作成することにした。また、これまでのモデルにおいては、モデルに組み込む各種データは、別途、それを求めるための分析ソフトを作成し、得られた結果をモデルに配置するという方法をとっていた。そこで、本研究においては、基礎となるテキストデータから、分析のために必要な各種データをすべて自動で作成でき



図1 連想記憶モデルにおける2つの処理段階

るように、モデルの改善を図ることにした。とくに、組み込む処理は、基礎データの形態素解析による単語の抽出、テキスト間の関連を示す荷重、単語間の関連を示す荷重などである。

イメージの表現については、次のように考えた。これまでのモデルは、図1に示したように、刺激語に対してホップフィールドモデルにより、バックグラウンドで単語を想起し、その想起したのから宣言的知識を抽出するものであった。ここで想起する単語をイメージに近い形で表示するように考えた。つまり、イメージの表現については、描画的なものではなく、想起する単語の関連を概念地図やイメージマップに近い形式で表現をすることにより、想起する内容全体の関連が示されるように考えた。そこで、想起する単語の関連が大きいほど近くに配置されることを考え、自己組織化マップによって表現することにした。

## 2. 対象とした知識データ

今回データとする知識は、子どもの認識の実態や学習評価を意図して、理科の問題に対する子どもの解答から得ることにした。理科の問題は、図2に示したように映像によって提示するものである。中学校第2学年の電気回路に関する問題で、解答は、自由記述により行う。問題内容は、次の通りである。

・太いニクロム線と豆電球をつなぎ、それを乾電池につないで豆電球をつける。

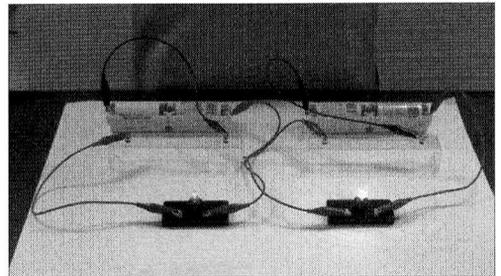


図2 映像による理科問題の提示

### 【問題】

今度は、先ほどの太いニクロム線の回路に、細いニクロム線を並列につなぐと、豆電球の明るさは、明るくなりますか、暗くなりますか、変わりませんか、答えと理由を書きましょう。

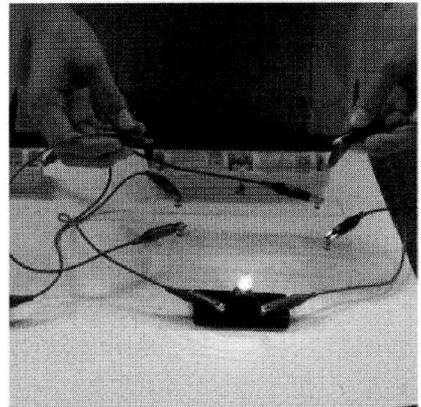
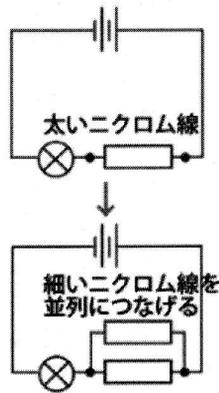


図3 電気回路に関する問題

- ・同じく細いニクロム線をつないで豆電球をつけ、太いニクロム線の方が、豆電球が明るくつくことを確認する。
- ・太いニクロム線を用いて豆電球がついている状態で、太いニクロム線に対して並列に細いニクロム線をつなぐと、豆電球の明るさはどうなるかを問う。

以上の問題を提示するとともに、図3に示した問題用紙を配布し、解答させた。調査対象は、電気回路の学習を終えている石川県内の公立A中学校第3学年4クラス122人である。生徒の解答をそのままテキストにし、モデルのための基礎データとした。

#### IV 作成した連想記憶モデル

##### 1. 基礎データの作成

作成した連想記憶モデルのトップメニューは、図4に示した通りである。まず、知識の基礎となるテキストデータを準備する。テキストデータは、問題に対して子どもが記述した解答や、教科書の記述内容などが考えられる。それらを一つのテキストファイルにして作成する。

トップメニューの「データフォルダ」のタグをクリックすると、データセットのためのフォルダが開く。そこに、準備したテキストファイルを「data.txt」というファイル名にして置く。

次に、「データセット」のタグをクリックする。このことにより、データ処理を行っていく

際に、もしプログラムで用いられる記号等がテキストデータに含まれていれば、変換される。たとえば半角のカンマ、半角のスペースなどを他の記号に変換し、新しくデータファイルが作成される。

##### 2. モデルで用いるデータの作成

###### (1) 両モデルに共通したデータの作成

「データセット」が完了した後、「モデル作成」のタグをクリックすると、次の手順で、ホップフィールドモデルと自己組織化マップに必要な共通したデータが作成される。

①テキストデータを形態素解析し、単語（基本形）と品詞に分割して抽出する。

②①で抽出した「単語一品詞」について、重複したものを除外する。その際、助詞や句読点についても除外し、それ以外をデータファイルとして保存する。

③抽出した単語数、テキストデータの文章数などの数値を、データファイルとして保存する。

以上の分析が終了すると自動的に次の処理に移る。

###### (2) ホップフィールドモデルのデータ作成

抽出した単語について、文章ごとにその単語が用いられているかどうかを分析し、その単語が用いられていれば「1」、用いられていなければ「0」として、「単語－文章」のマトリクスを作成する。これまでの研究で示したように、このマトリクスをもとに、単語  $i$  と単語  $j$  が同じく「1」である度数を  $p_{ij}(1,1)$ 、単語  $i$  が「1」で単語  $j$  が「0」である度数を  $p_{ij}(1,0)$ 、単語  $i$  が「0」で単語  $j$  が「1」である度数を  $p_{ij}(0,1)$  とする。そして、単語  $i$  と単語  $j$  間の荷重  $W_{ij}$  を次の式1により求める。

$$W_{ij} = \log \frac{40 \cdot p_{ij}(1,1) + 1}{p_{ij}(1,0) + p_{ij}(0,1)} \quad \dots \text{式1}$$

また、単語  $i$  の「1」の度数を  $N_i(1)$ 、「0」の度数を  $N_i(0)$  とし、しきい値  $\theta_i$  を次の式2によ

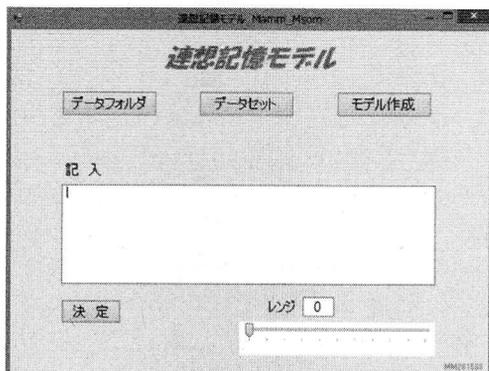


図4 連想記憶モデルのトップメニュー

り求める。

$$\theta_i = -\log \frac{N_i(0)}{N_i(1)} \quad \dots \text{式2}$$

### (3) 単語の自己組織化マップデータの作成

抽出した単語について、文章ごとにその単語が何回用いられているかを分析し、「単語－文章」のマトリクスを作成する。その際、1つの文章で同じ単語が、3回以上用いられている場合は、「3」とする。したがって、マトリクスの数値は、「0」から「3」までの値となる。一つの単語に注目すると、0から3の数値が文章数だけ並んだデータができる。ここではそれを「単語数値」とする。

まず、単語の自己組織化マップについて、単語数に応じてサイズを設定する。縦横同じ数のセルを準備し、一つ一つのセルには、初期データとして文章数だけ荷重の値をランダムに付与する。ある一つの単語を選び、その「単語数値」と各セルに付与された荷重を比較し、もっとも一致しているセルの一つを選ぶ。そのセルにその単語を位置づけるとともに、周辺のセルの荷重をその配置した「単語数値」に近づけるように変化させる。次に他の単語の一つを選び、同様に各セルの荷重と比較し、もっとも一致するセルを選び、そこに単語を位置付ける。そして、その周辺のセルの荷重をその「単語数値」に近づけるように変化させる。これを繰り返すたびに、荷重を変化させる周辺のセルを、近くのものだけに狭めていく。以上のことを繰り返すことにより、同時に用いられ関連があると考えられる単語どうしが、近くに配置されるようになる。最終的に決定したセルの荷重を単語の荷重データとし、そこに位置づけられた単語のセルの位置を位置データとする。

以上のようにして、すべての単語が自己組織化マップに配置される。連想記憶モデルでは、連想して想起された単語をこの自己組織化マップを用いて配置し、イメージを表現する。

### (4) 文章の自己組織化マップデータの作成

単語の自己組織化マップの処理と同様、「単語－文章」のマトリクスを作成し、一つの文章に注目すると、0から3の数値が単語数だけ並んだデータを得ることができる。ここではそれを「文章数値」とする。この数値をもとに、単語の自己組織化マップと同じように、各文章を自己組織化マップに位置づけ、文章の荷重データを求める。また、そこに位置づけられた文章のセルの位置を位置データとする。

以上のようにして、類似した文章が自己組織化マップにおいて、近くに配置される。連想記憶モデルでは、連想して想起した単語をもとに、この自己組織化マップを用いて、宣言的知識を抽出する。

## 3. モデルによるイメージと知識の表示

### (1) モデル動作の概要

モデルのための各種データがすべて作成されると、「モデル作成」タグの下に「終了」が表示される。表示後、「記入」欄に、刺激語として単語や文章を入力し、「決定」のタグをクリックすると、記入した内容が形態素解析される。形態素解析された単語と品詞をもとに、ホップフィールドモデルにより、想起する単語が抽出される。次に、記入した刺激語の単語と想起した単語の関連が自己組織化マップで表示されることにより、イメージの表現が行われる。さらに、記入した単語と想起した単語をもとに、文章の自己組織化マップによって宣言的知識が抽出される。

なお、トップメニューの「レンジ」レバーは、想起する際の想起しやすさを設定するものである。初期状態は「0」になっている。レンジを上げることによって、しきい値を一定の値下げようになっており、通常は想起される単語が多くなる。連想する単語が少ない場合などに用いる。

### (2) イメージの表示

今回作成したモデルにより、たとえば、「並列回路」や「並列回路の抵抗と電流」といった

刺激語を「記入」欄に入力し、「決定」をクリックして実行する。すると、ホップフィールドモデルにより、関連する単語が想起され、刺激語を含むこの想起された単語の関連を自己組

織化マップに表示することにより、イメージの表現が行われる。図5のようなフォームで表示される。図5は、「並列回路」を刺激語とした場合の結果を示している。刺激語の単語である「並列」「回路」のセルは黄緑色で表示される。想起した単語の「細い」「大きい」「弱い」「太い」「和」「よる」「通る」のセルの色は黄色で表示される。これらの想起語とその位置の関係から、並列回路による（ニクロム線の）太さや細さ、そして、弱くなるといったイメージが形成されていることが考えられる

この問題では、細いニクロム線を並列につなげることにより、並列部分の抵抗は小さくなり、電流が強く流れる。そのため、豆電球の明るさは明るくなるというのが正答である。ここで形成されたイメージは、それと異なり、太いニクロム線と細いニクロム線の並列回路では、電

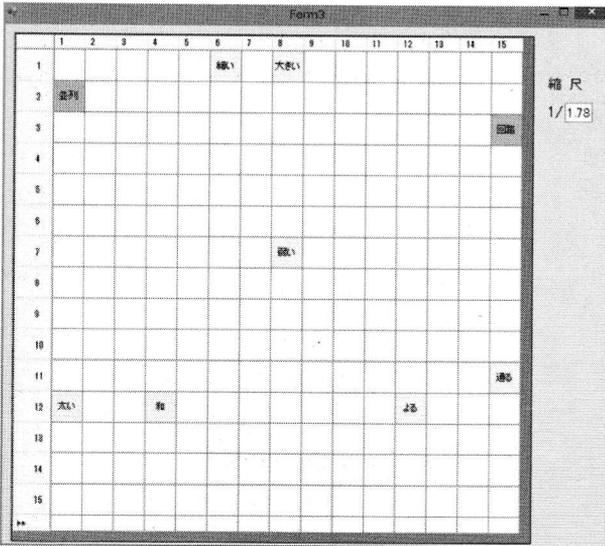


図5 「並列回路」を刺激語としたイメージの表示（ケース1）

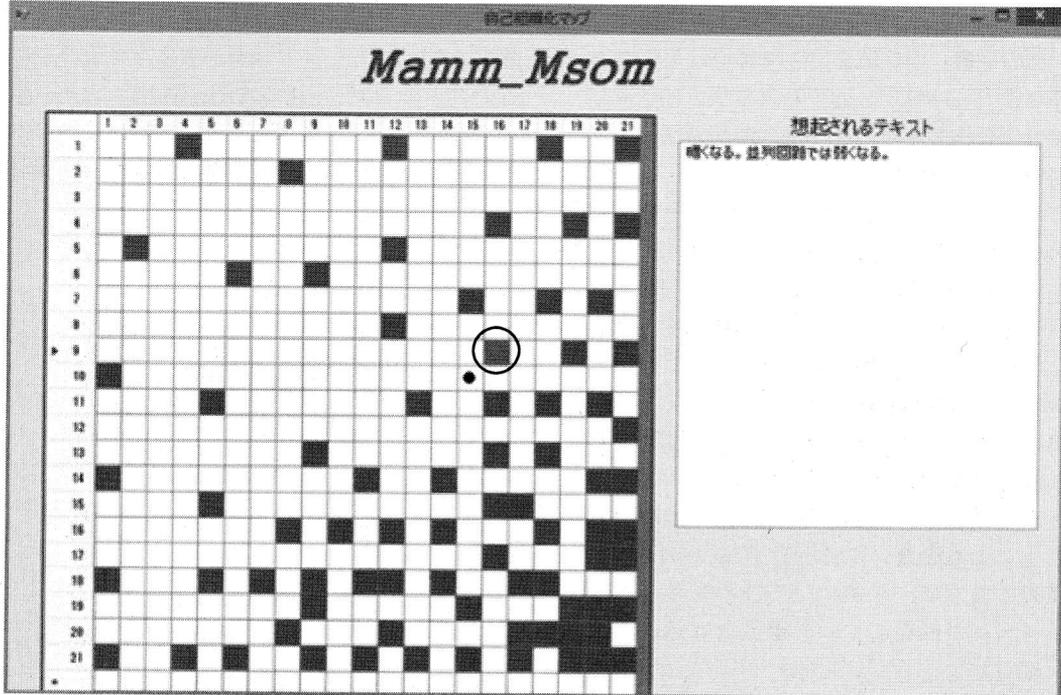


図6 「並列回路」を刺激語とした宣言的知識の表示（ケース1）

流が弱くなるといったものである。他の刺激語で、たとえば「抵抗」を刺激語とした場合、「暗い」「変わる」「流れる」といった単語の配置でイメージが表示される。

なお、フォーム右枠の「縮尺」の数値は、想起された単語のすべてを15×15のマトリクスに配置するため、縮小した値が示されている。いろいろな刺激語で、表示されるイメージの単語間の距離は、同じように表示されても、この縮尺の値に留意して比較する必要がある。

### (3) 知識の表示

イメージの表示と同時に、文章の自己組織化マップによる宣言的知識を示すフォームが表示される。刺激語の単語と想起した単語をもとに、各セルの荷重が照合され、もっとも一致した荷重をもつセルが選ばれ、図6に示したように「●」で表示される。このセルに対応した文章が、刺激語と想起したイメージに関連した宣言的知識とみなすことができる。

宣言的知識が位置づけられているセルの色は、青で示されるが、図6に示した自己組織化マップの「●」の位置には、位置づけられた文章がない。この場合、近くの色をついたセルを位置づけられたものとみなす。図6では、「○」で囲ったセルをクリックした結果を示しており、右枠に、位置付けられた宣言的知識が表示される。「暗くなる。並列回路では弱くなる」といった内容である。図5のイメージに一致しており、(電流が)弱くなるといった知識であるといえる。

### (4) イメージの混在

ホップフィールドモデルによる想起語は、計算のたびに変わる場合がある。それらを考慮して、何回か繰り返して結果を見ることも必要になる。とくに、今回の調査のように、生徒にいろいろな考えやイメージが混在している場合には必要になる。

同じく「並列回路」を刺激語として想起させたもう一つの結果を、図7と図8に示した。図7より、想起する単語は、「ない」「電流」「する」「ふえる」「どこ」「電気」であり、電流が増えるといったイメージがあることがわかる。宣言的知識は、図8より「明るくなる。回路に流れる電流が増えるから」といった内容であることがわかる。

図5から図8に示したように、生徒には、回路が並列になることによって電流が強くなるといったイメージもあれば、弱くなるといったイメージもあることがわかる。このように、想起される単語が異なり、いろいろなイメージが含まれたものになっていることがわかる。そして、モデルでそのイメージに対応した宣言的知識が抽出されているといえる。

### (5) モデルの妥当性の検証

モデルの妥当性については、これまでの研究と同様に、自己組織化マップに表示される宣言的知識を刺激語とした場合に、それによって想起される単語から抽出される宣言的知識が、刺激語と同じであるかどうかから検証することにした。たとえば、「暗くなる。細いニクロム線をつなげたから暗くなるから。」といった宣言

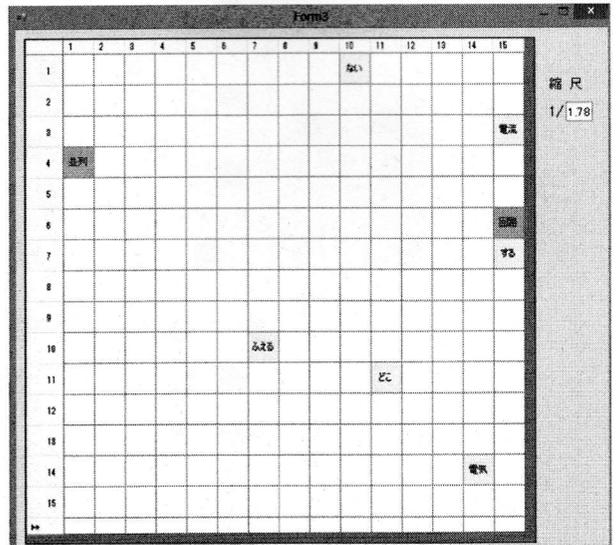


図7 「並列回路」を刺激語としたイメージの表示 (ケース2)

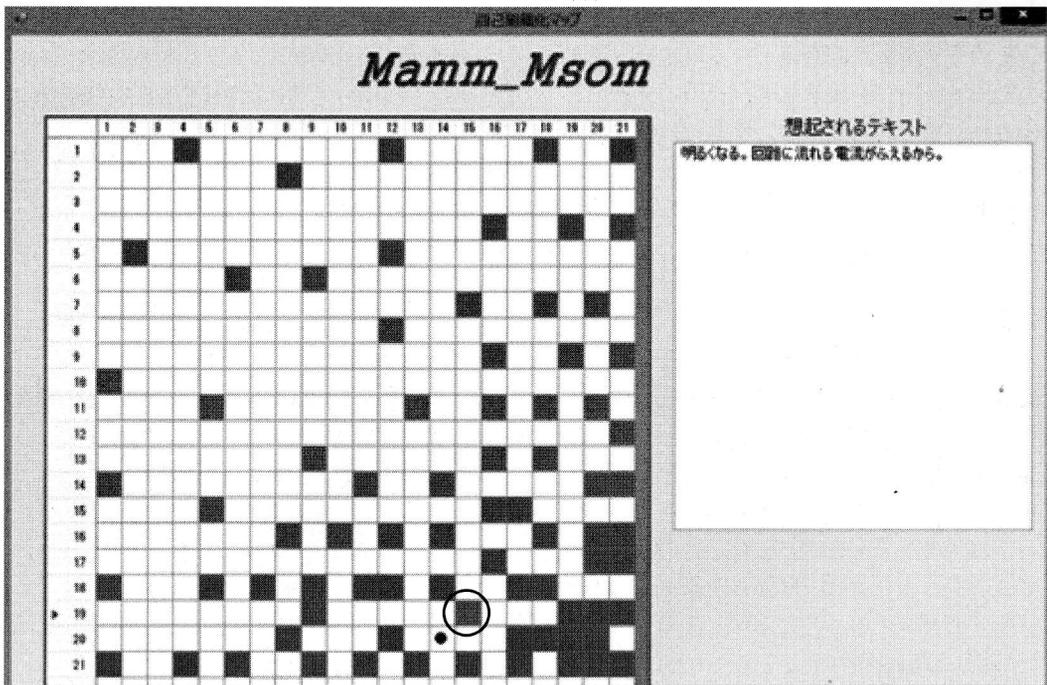


図8 「並列回路」を刺激語とした宣言的知識の表示（ケース2）

的知識がある。これを刺激語としてモデルを実行した結果、宣言的知識を表示する自己組織化マップの「●」の位置は、ほぼ刺激語とした文章のセルの位置となった。多くの場合、「●」が刺激語とした宣言的知識と同じところに位置するか、近くに位置する結果であった。

## V 考察

モデルにおけるイメージと宣言的知識の関係は、図5から図8の例に示したように、対応関係にあるといえる。また、宣言的知識を刺激語にすると、モデルによって抽出される宣言的知識は同知識が抽出された。これらの結果から、本モデルの妥当性は高いと判断できる。

そこで、モデルの活用については、次のことがあげられる。一つ目として、学習者の認識の特徴の分析および学習評価としての活用をあげることができる。イメージが表示されることによって、知識の関連が視覚的にわかりやすくなる。たとえば「並列回路」について、「弱い」

というイメージや「電流」「ふえる」といったイメージが示される。また、たとえば「抵抗」を刺激語とすると「暗い」「変わる」「流れる」といった単語の関連によってイメージが示される。このように、どのように知識が関連づけられているか、あるいは誤った知識の関連をもっているかが判断できる。さらに、それらのイメージに対応する宣言的知識の抽出から、たとえば、並列回路においては、電流が弱くなること、並列になっても一つの抵抗の影響のみを受けていると考えることなどがわかる。これらの特徴を明らかにすることによって、授業前においては、学習者の認識の実態に応じた指導計画や、教材の準備を行うことができる。また、授業後においては、誤ったイメージ形成をなくしていくように、授業改善を図っていくことが考えられる。

二つ目として、基礎データとして教科書などの学習内容をモデルに組み込むことにより、授業設計に役立てることが考えられる。学習にお

いて習得すべき内容によってモデルを作成する。そのモデルに、刺激語となる単語や内容を入力してイメージを表示させ、そのイメージと抽出された宣言的知識から、学習において形成すべきイメージと知識を明らかにすることにより、授業設計に役立てることができると考えられる。

## VI まとめおよび今後の課題

本研究においては、これまでに開発してきた連想記憶モデルをもとに、イメージを表現する機能を組み込んだモデルを作成した。そして、知識分析の観点と方法を提唱するとともに、イメージに基づくモデルの教育的な活用について明らかにすることを目的とした。

イメージについては、単語の関連を自己組織化マップで表示することにより、イメージマップに類似した表現を行うことができた。また、それらと宣言的知識の関連を示すことができた。これらをもとに、子どもの記述内容からは、認識の実態や学習効果について評価することができ、授業内容からは授業設計に役立てていけることが考えられた。今後は、モデルを利用して、具体的な授業における子どもの解答から、学習評価や授業評価を行うとともに、学習内容によってモデルを作成し、授業設計におけるモデルの活用について、さらに具体的に示すことが課題としてあげられる。

## 引用・参考文献

- 1) 松原道男：「理科教育における連想記憶モデルの活用」, 金沢大学人間社会学域学校教育学類紀要, 7, 1-11, 2015
- 2) 甘利俊一・酒田英夫：「脳とニューラルネット」朝倉書店, 1994
- 3) 櫻井芳雄：「考える細胞ニューロン 脳と心をつくる柔らかな回路網」, 講談社, 2002
- 4) M・シュピッツァー：「脳 回路網の中の精神」新曜社, 2001
- 5) 一杉裕志：「脳の情報処理原理の解明状況」産業技術総合研究所テクニカルレポート, AIST07-J00012, 2008年3月31日
- 6) 一杉裕志：「大脳皮質とベイジアンネット」, 日本ロボット学会誌, Vol.29, No.5, 412-415, 2011
- 7) 日本理科教育学会編：「理科ハンドブック I これからの理科授業実践への提案」東洋館出版社, 16-19, 2002
- 8) 日本理科教育学会編：「今こそ理科の学力を問うー新しい学力を育成する視点」東洋館出版社, 248-253, 2012
- 9) 1)と同書